

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
ŠUMARSKI FAKULTET  
DRVNOTEHNOLOŠKI ODSJEK**

**PREDIPLOMSKI STUDIJ  
STUDIJ DRVNE TEHNOLOGIJE**

**FRANJO HERCEG**

**ČVRSTOĆA MONTAŽNOG LIJEPLJENJA MASIVNOG DRVA  
ZAVRŠNI RAD**

**ZAGREB, RUJAN 2017.**

## PODACI O ZAVRŠNOM RADU

<b>AUTOR:</b>	Franjo Herceg 04.08.1995. Livno, BIH 0068225019
<b>NASLOV:</b>	Čvrstoća montažnog lijepljenja masivnog drva
<b>PREDMET:</b>	Ljepila i lijepljenje drva
<b>MENTOR:</b>	Doc. dr. sc. Vjekoslav Živković
<b>IZRADU RADA JE POMAGAO:</b>	Doc. dr. sc Goran Mihulja
<b>RAD JE IZRAĐEN:</b>	Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet Zavod za namještaj i drvene proizvode, Laboratorij za drvo u graditeljstvu
<b>AKAD. GOD.:</b>	2016/2017.
<b>DATUM OBRANE:</b>	15.09.2017.
<b>RAD SADRŽI:</b>	Stranica: 17 Slika: 14 Tablica: 4 Navoda literature: 8
<b>SAŽETAK:</b>	<p>U ovom radu vršilo se istraživanje čvrstoće kutno – plošnog spoja pomoću moždanika. Za ispitivanje koristile su se dvije različite vrste drva: bukva i hrast, dvije različite vrste ljepila: PVAC i PUR, te tri različite količine nanosa ljepila. Uzorci su izrađeni lijepljenjem elemenata dimenzija 100 × 100 × 20 mm u kutno – plošni spoj pomoću moždanika. Nakon lijepljenja i kondicioniranja, uzorci su podvrgnuti ispitivanju čvrstoće na savijanje s određenim momentom savijanja. Dobiveni rezultati potvrdili su pretpostavke pri montažnom lijepljenju, te pokazali koliko su ispitivani čimbenici bitni kod ovakvih spojeva.</p>

## **PREDGOVOR**

Zanimanje za ovo istraživanje stvorilo se uviđanjem da se kod drvnog namještaja često prerano rastave kutni spojevi, tako da bez obzira da li nam je drvo i ostali materijali još uvijek u uporabnom stanju, namještaj nećemo moći više koristiti bez posebnih popravaka.

Kada sam se odlučio što želim istraživati obratio sam se doc.dr.sc. Goranu Mihulji i doc.dr.sc. Vjekoslavu Živkoviću, te smo zaključili temu: „Čvrstoća montažnog lijepljenja masivnog drva“ .

Očekujem da će ovaj rad pomoći meni i mojim kolegama u budućim poslovima. Zahvalio bih se Šumarskom fakultetu jer mi je odobrio i omogućio izvođenje ovog rada. Posebno bih se zahvalio svom mentoru doc.dr.sc. Vjekoslavu Živkoviću , uz njega doc.dr.sc. Goranu Mihulji koji je bio kao drugi mentor, te ostalim kolegama i profesorima koji su pomogli pri rješavanju problema s kojima smo se susretali prilikom izvođenja rada.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio /la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

---

Franjo Herceg

U Zagrebu, 15.9.2017.

## **SADRŽAJ:**

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CILJ RADA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERIJALI I METODE.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Priprema uzoraka .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.1. Lijepljenje PVAc 303 D3 ljepilom.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.2. Lijepljenje PUR 501 ljepilom .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1.3.Završne faze izrade uzoraka .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Ispitivanje uzoraka .....</b>	<b>10</b>
<b>4.REZULTATI ISPITIVANJA .....</b>	<b>11</b>
<b>5. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>16</b>
<b>6. LITERATURA .....</b>	<b>17</b>

## 1. UVOD

Drvo, materijal koji koristimo u svakodnevnom životu. Ono je prije svega prirodan i ekološki prihvatljiv materijal. Lako se obrađuje i ne zahtjeva velik utrošak energije pri proizvodnji i obradi, ekonomičan je u odnosu na druge materijale. Ovisno o uvjetima primjene, a zbog podložnosti prirodnoj razgradnji, drvo zahtjeva određenu razinu zaštite. Uz odgovarajuću zaštitu drvo je poznato kao dugotrajan materijal. Obrađujemo ga na različite načine i u različite svrhe.

U vanjskoj uporabi drvo koristimo za izradu različitih konstrukcija, mostova, klupa, stepeništa, manjih ili većih objekata i sl. U interijeru njegova primjena je također široka (stolovi, ormari, kuhinje, stolci, prozori, vrata...) .

Pored velikog broja prednosti, ovaj materijal ima i neke svoje mane koje otežavaju njegovu obradu i primjenu. Neke od tih mana su greške građe drva, utjecaj insekata i gljiva, zapaljivost i dr.

Pri obradi drva bitno je poznavati njegova svojstva. Na neka svojstva drva se nemože utjecati, no bitno je uvidjeti gdje takvo svojstvo nemože narušiti uporabljivost i vrijednost određenog proizvoda. Kod konstruiranja drvnih proizvoda treba obratiti pažnju na mnogo činitelja koji su važni za dobivanje korisnog proizvoda. Svaka mala greška u konstrukciji može u konačnici dovesti do neupotrebljivosti proizvoda i uzalud utrošenog rada. Zbog susretanja s mnogobrojnim problemima pri konstruiranju i montaži u proizvodnji namještaja, odlučili smo ispitati nekoliko čimbenika koji utječu na čvrstoću spojeva.

U ovom radu ispitali smo montažnu čvrstoću često primjenjivane konstrukcije. Riječ je o kutno plošnom spoju s moždanicima (L –sastav) koji se primjenjuje kod npr. korpusnog namještaja, stolova, kreveta i drugih proizvoda. Grgić (2016.) je ustanovio da lijepljeni spoj s moždanicima ima veće vrijednosti momenta savijanja u odnosu na eliptični umetak i spoj sa svornjakom i zakretnim klinom. Pored toga spoj s moždanicima je ekonomičan. Zbog dokazanih pogodnosti ovaj spoj često dobiva prednost u proizvodnji.

Visoka primjena ovoga spoja potakla je na ispitivanja različitih parametara ovoga spoja. Prethodna ispitivanja bazirala su se na ispitivanju utjecaja okolne temperature, vlažnosti zraka, površine lijepljenja. Vassiljivkov i suradnici (2008.) su dokazali da promjena temperature od 200 ° C do -150 ° C i vlažnost zraka od 50% do 35% nema utjecaja na krajnju čvrstoću savijanja, ali ima utjecaja na krutost lijepljenih kutnih spojeva s klinovima. Prekrat i sur. (2004) dokazali su da je inoviranim sastavom promijenjene geometrije i manjom površinom lijepljenja moguće postići jednake ili čak bolje rezultate.

Pored ovih ispitivanih parametara, bitno je znati kako količina nanosa ljepila utječe na čvrstoću ovoga spoja. Ovom se parametru u prethodnim istraživanjima nije pridavalo pažnje, zbog toga smo odlučili dokazati koliko zapravo on utječe na čvrstoću ovog spoja.

Za izradu uzoraka koristili smo dvije vrste drva: bukvu (*Fagus sylvatica*) i hrast (*Quercus spp.*). Uzorak smo pripremili na način da smo slijepili dva elementa dimenzija 100 × 100 × 20 mm. U spoju su se nalazila po 2 bukova nazubljena moždanika (C-tip) dimenzija 8/35 mm. Koristili smo se dvjema vrstama ljepila: PVAc 303 D3 i PUR 501, s tri različite količine nanosa. Za svaku kombinaciju vrste drva, vrste ljepila, količine nanosa, pripremljeno je po petnaest ispitnih uzoraka.

## 2. CILJ RADA

Zbog malog pridavanja pažnje nekim činiteljima lijepljenja koji su zapravo jako bitni, cilj ovog rada je dokazati koliko količina nanosa ljepila utječe na čvrstoću lijepljenog spoja, kolika je razlika u čvrstoći spoja ako se koristimo srednji nanos, te minimalni i maksimalni nanos preporučen od strane proizvođača. Pored toga cilj je pokazati i ponašanje ove konstrukcije pri djelovanju momenta sile, uvidjeti gdje konstrukcija gubi svoju najveću čvrstoću, odnosno gdje dolazi do loma. Također smo htjeli saznati razliku u „ponašanju“ između dvije različite vrste drva, kako se odnose prema vrsti ljepila i zadanoj konstrukciji.

- Ispitivani činitelji:
  - sila loma kutno - plošnog spoja s moždanicima
  - moment savijanja kutno - plošnog spoja s moždanicima



### 3. MATERIJALI I METODE

#### 3.1. Priprema uzoraka

Za izradu uzoraka bilo je potrebno proizvesti drvene elemente dimenzija  $100 \times 100 \times 20$  mm (L x R x T), uzorci su imali izbušene rupe za moždanike promjera 8 mm. Kod uzoraka s čeonim rupama dubina rupe iznosila je 21mm, dok kod uzoraka s plošnim rupama dubina rupe iznosila je 15mm. Takvi drveni elementi pripremljeni su u stolariji Šumarskog fakulteta, kondicionirani odgovarajući period u Laboratoriju za drvo u graditeljstvu, zatim su bili spremni za postupak lijepljenja.

##### 3.1.1. Lijepljenje PVAc 303 D3 ljepilom

Polimerizacijska PVAc ljepila za drvo sastoje od polivinil-acetata i aditiva koji modificiraju ljepilo za određenu upotrebu. Osnovno je vezivo PVAc ljepila vodena disperzija polivinilacetata, koji se stvara pri polimerizaciji vinilacetata. Vinilacetat se može polimerizirati uz pomoć polimerizacije u masi, polimerizacijom otopine i emulzijskom polimerizacijom. U proizvodnji ljepila za drvo najčešće se upotrebljava emulzija sa sadržajem suhe tvari od 40 do 60 % (Šernek i Kutnar, 2008).

Rukovanje ovim lijepilom bilo je nešto jednostavnije zbog njegove viskoznosti i otvorenog vremena. Zbog malih količina lijepila koje su predviđene za određenu rupu, lijepilo se nanosilo medicinskim špricama.

- Količine nanosa lijepila koje su zahtjevale rupe za ovu vrstu lijepila iznosile su:
  - donja granica preporučenog nanosa umanjena za 20% iznosi  $118,125 \text{ g/m}^2$
  - srednja vrijednost preporučenog nanosa iznosi  $175 \text{ g/m}^2$
  - gornja granica preporučenog nanosa uvećana za 20% iznosi  $231,875 \text{ g/m}^2$

Pomnožimo li ove vrijednosti s površinom odgovarajuće rupe dobijemo količinu nanosa za pojedinu rupu:

- Čeone rupe (21mm dubine):
  - 0.083 g ljepila za minimalnu količinu nanosa
  - 0.123 g ljepila za srednju količinu nanosa
  - 0.163 g ljepila za maksimalnu količinu nanosa
  
- Plošne rupe (15mm dubine):
  - 0.068 g ljepila za minimalnu količinu nanosa
  - 0.101 g ljepila za srednju količinu nanosa
  - 0.134 g ljepila za maksimalnu količinu nanosa

### **3.1.2. Lijepljenje PUR 501 ljepilom**

Poliuretanska (PUR) ljepila nastaju poliadicijom izocianatnih polimera i poliola (alkohola s više OH skupina). Poznata su jednokomponentna, dvokomponentna, termo stabilna te taljiva ljepila. U drvnoj se industriji najčešće upotrebljavaju jednokomponentna PUR ljepila, i to za zahtjevna montažna lijepljenja, lijepljenje konstrukcijskih kompozita kao što su npr. nosači. Služe i za spajanje međusobno različitih materijala kao što su metali, guma i keramika. Pri primjeni jednokomponentnih ljepila preporučuje se da sadržaj vode u drvu bude veći od 8 % (Resnik, 1997).

Ovo lijepilo je zahtjevalo pažljivo rukovanje, zbog brzog otvrdnjavanja i pjenjenja bilo je potrebno posudicu za doziranje šprice s ljepilom držati u eksikatoru.



Slika 1. Nanošenje PUR ljeplila

- Količine nanosa ljeplila koje su zahtjevale rupe za ovu vrstu ljeplila iznosile su:
  - donja granica preporučenog nanosa umanjena za 20% iznosi  $82,5 \text{ g/m}^2$
  - srednja vrijednost preporučenog nanosa iznosi  $150 \text{ g/m}^2$
  - gornja granica preporučenog nanosa uvećana za 20% iznosi  $217,5 \text{ g/m}^2$

Pomnožimo li ove vrijednosti s površinom odgovarajuće rupe dobijemo količinu nanosa za pojedinu rupu:

- Čeone rupe (21mm dubine):
  - 0.058 g ljeplila za minimalnu količinu nanosa
  - 0.106 g ljeplila za srednju količinu nanosa
  - 0.153 g ljeplila za maksimalnu količinu nanosa

- Plošne rupe (15mm dubine):
  - 0.048 g Ljepila za minimalnu količinu nanosa
  - 0.087 g Ljepila za srednju količinu nanosa
  - 0.126 g Ljepila za maksimalnu količinu nanosa

### 3.1.3.Završne faze izrade uzoraka

Nakon nanošenja lijepila u rupe, lijepilo se po rupi razmazuje staklenim štapićem, koji mora biti zasićen malom količinom lijepila prije ulaska u rupu, kako ne bih povukao iz rupe lijepilo namijenjeno za spoj. Moždanici se prvo nabijaju u plošne rupe, zatim se element s čeonim rupama nabija na moždanike. Dobiveni spoj je dodatno zategne stegama kako bi se ostvario potpuni kontakt, zatim se na uzorak stavljaju utezi (2 kg). Nakon dva dana kondicioniranja uzorci su bili spremni za ispitivanje.



Slika 2. Razmazivanje lijepila u rupi

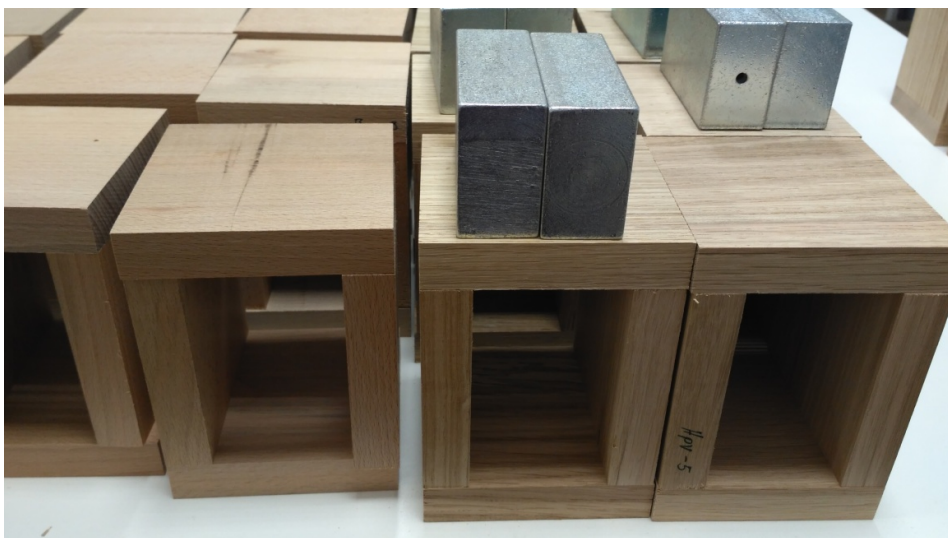


Slika 3. Postavljanje moždanika u plošne rupe



Slika 4. Spajanje elemenata





Slika 5. Prešanje uzoraka



Slika 6. Uzorci spremni za ispitivanje

### 3.2. Ispitivanje uzoraka

Ispitivanje uzoraka vršilo se u Laboratoriju za drvo u graditeljstvu na Šumarskom fakultetu. Uzorci su za vrijeme ispitivanja bili pod utjecajem djelovanja tlačne sile na kraku od 70mm (prikazano na sl.8.).



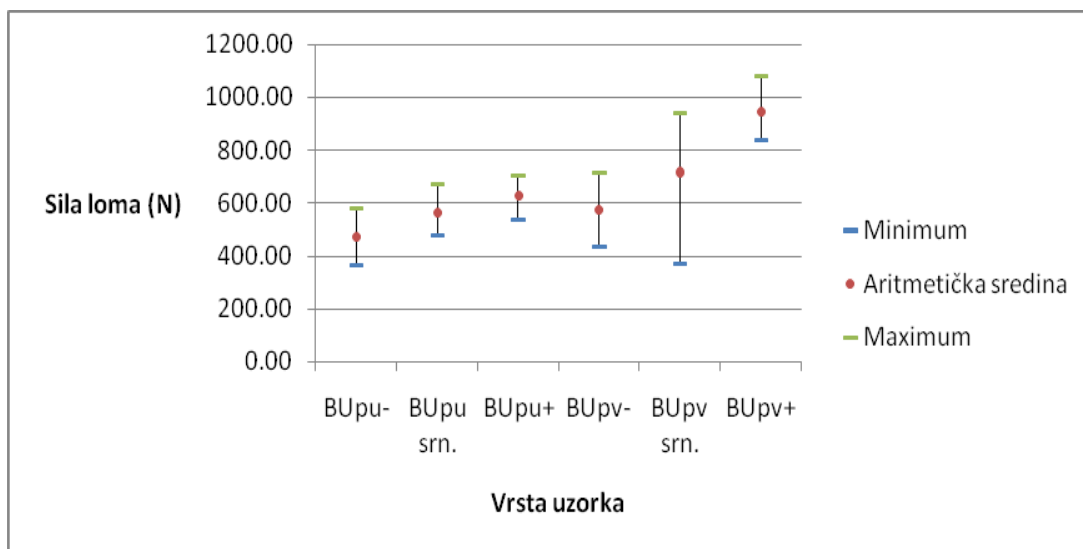
Slika 7. Ispitivanje uzoraka u Laboratoriju za drvo u graditeljstvu na Šumarskom fakultetu



Slika 8. Položaj uzorka na kidalici

## 4.REZULTATI ISPITIVANJA

Nakon ispitivanja na kidalici 180 uzoraka, 15 od svake kombinacije količine nanosa ljepljiva, vrste drva i vrste ljepljiva dobili smo sljedeće podatke:



Slika 9. Prikazan je minimalni, prosječni, maksimalni iznos sile loma kod određenog tipa bukovih uzoraka

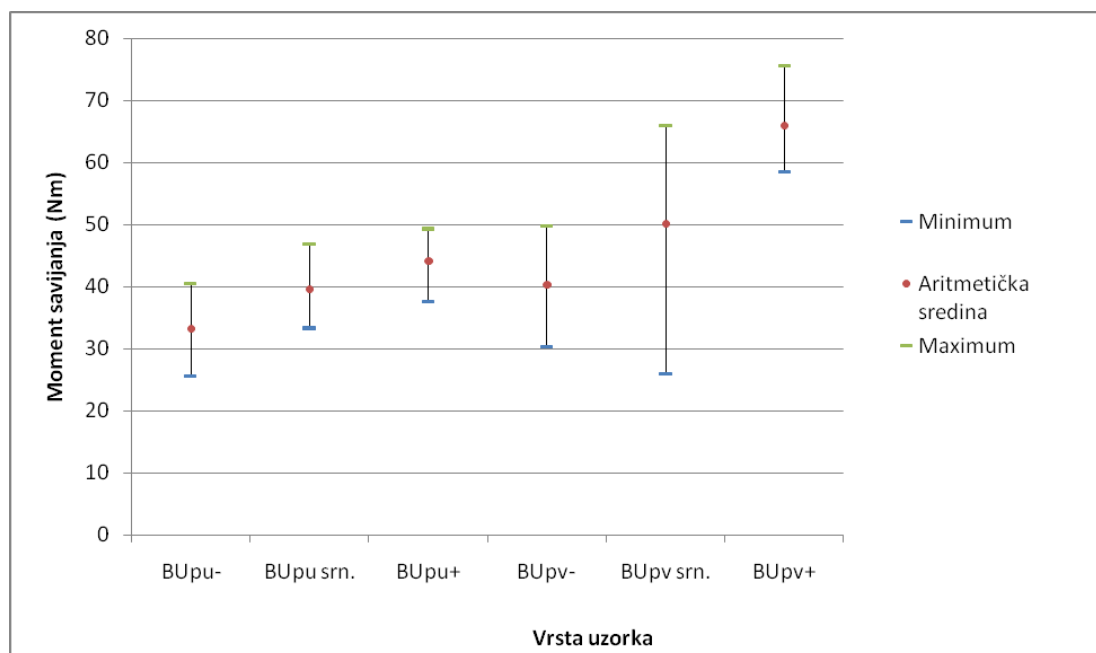
Tablica 1. Rezultati ispitivanja sile loma kod uzoraka bukve

Parametri	BUpu-	BUpusrn.	BUpu+	BUpv-	BUPvsrn.	BUPv+
	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)
<b>Minimum</b>	365.67	476.12	537.71	434.08	369.60	835.99
<b>Aritmetička sredina</b>	474.61	564.38	629.46	574.97	717.13	942.19
<b>Maximum</b>	578.91	669.89	704.89	712.62	941.74	1080.62



Kada analiziramo podatke vidimo da se kod bukovih uzoraka sila loma povećavala s povećanjem količine nanosa, kod najmanje količine nanosa potrebna je i najmanja sila loma, kod najveće količine nanosa potrebna je najveća sila. Pokazalo se da su uzorci lijepljeni PVAc ljepilom imali veću čvrstoću od uzoraka lijepljenih PUR ljepilom, pri jednakim količinama nanosa. Kod uzoraka lijepljenih PVAc ljepilom vidljiv je manji raspon minimalnih i maksimalnih sila loma, nego kod PUR ljepila.

Kod kraka sile od 70mm dobili smo sljedeće vrijednosti za moment sile:

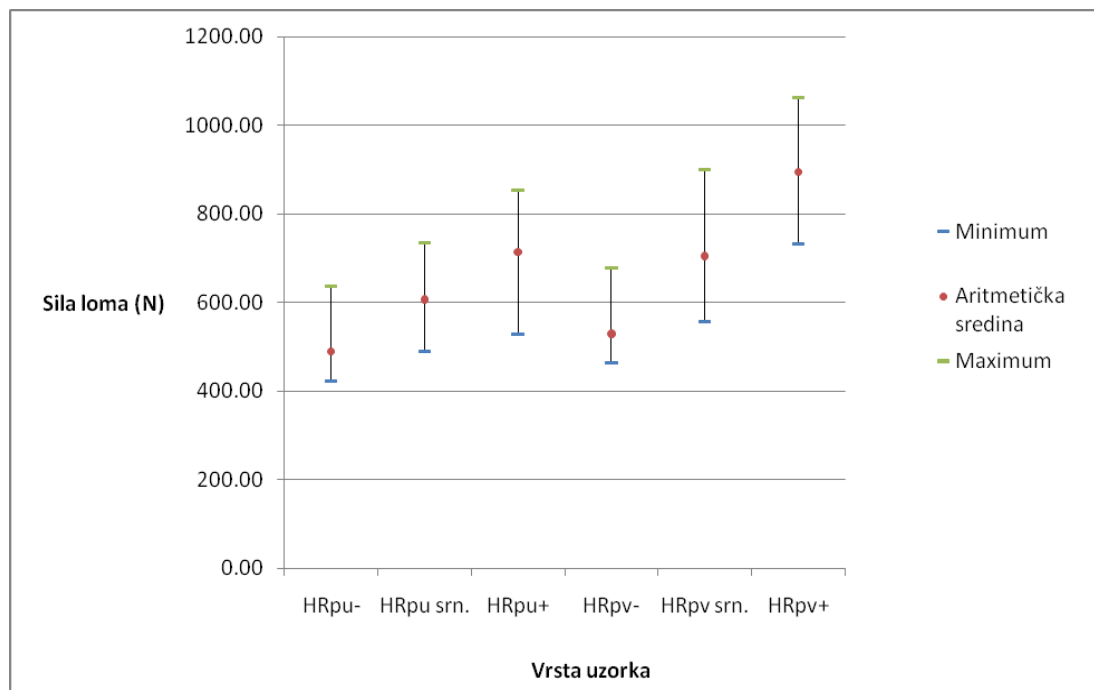


Slika 10. Grafički prikazan minimalni, prosječni, maksimalni moment savijanja kod bukovih uzoraka

Tablica 2. Rezultati ispitivanja momenta savijanja kod uzoraka bukve

Parametri	BUpu-	BUpusrn.	BUpu+	BUpv-	BUpvsrn.	BUpv+
	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)
<b>Minimum</b>	25.60	33.33	37.64	30.39	25.87	58.52
<b>Aritmetička sredina</b>	33.22	39.51	44.06	40.25	50.20	65.95
<b>Maximum</b>	40.52	46.89	49.34	49.88	65.92	75.64

S obzirom da smo se koristili jednakim iznosom kraka sile (70 mm) kod svih uzoraka, izgled grafa momenta savijanja je bilo sličan kao i kod sile loma.

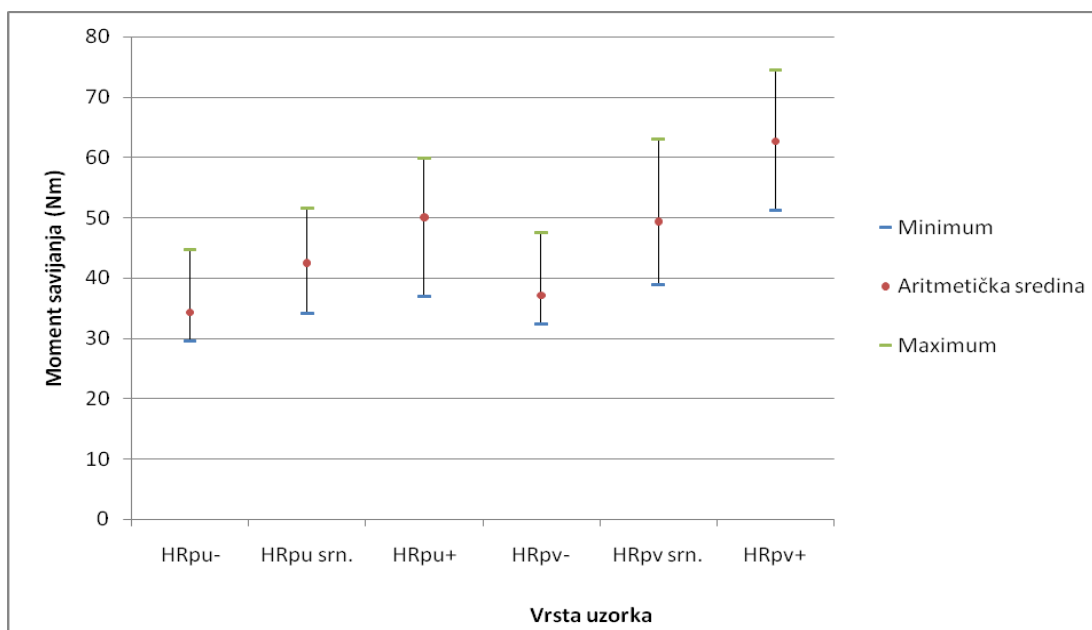


Slika 11. Prikazan je minimalni, prosječni, maksimalni iznos sile loma kod određenog tipa uzoraka hrasta

Tablica 3. Rezultati ispitivanja sile loma kod hrastovih uzoraka

Parametri	HRpu-	HRpusrn.	HRpu+	HRpv-	HRpvsrn.	HRpv+
	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)
<b>Minimum</b>	421.81	487.88	527.81	462.88	555.34	731.34
<b>Aritmetička sredina</b>	490.70	607.13	714.75	530.01	704.99	893.87
<b>Maximum</b>	637.75	734.71	853.67	678.54	899.59	1063.08

Kod hrastovih uzoraka također se pokazala veća čvrstoća kod uzoraka lijepljenih PVAc ljepilom. Povećanjem količine nanosa povećavala se i čvrstoća na lom, odnosno potrebna sila loma. Raspon između minimalne i maksimalne sile loma, kod svih tipova hrastovih uzoraka pokazao se dosta ujednačeniji, gotovo jednak.



Slika 12. Grafički prikazan minimalni, prosječni, maksimalni moment savijanja kod hrastovih uzoraka

Tablica 4. Rezultati ispitivanja momenta savijanja kod uzoraka hrasta

Parametri	HRpu-	HRpusrn.	HRpu+	HRpv-	HRpvsrn.	HRpv+
	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)
<b>Minimum</b>	29.53	34.15	36.95	32.40	38.87	51.19
<b>Aritmetička sredina</b>	34.35	42.50	50.03	37.10	49.35	62.57
<b>Maximum</b>	44.64	51.43	59.76	47.50	62.97	74.42

Kao i kod bukovih uzoraka, odnos rezultata minimalnog, prosječnog i maksimalnog momenta savijanja jednak je odnosu minimalne, prosječne i maksimalne sile loma zbog jednakog kraka sile kod svih uzoraka.

Usporedimo li prosječne rezultate, za minimalnu, srednju i maksimalnu količinu nanosa, dobivene kod pojedine vrste drva, vidimo da uzorci hrasta, lijepljeni PUR ljepilom, imaju veću čvrstoću od uzoraka bukve lijepljenih PUR

ljepilom. Kod PVAc ljepila čvrstoća ovisno o vrsti drva pokazala se obrnuta, veća čvrstoća kod bukovih uzoraka nego kod hrastovih.

Prilikom lijepljenja hrastovih uzoraka PVAc ljepilom, zapažen je izlazak ljepila, kroz krupne pore, na poprečni presjek uzorka s plošnim rupama, što je vjerojatno jedan razlog manje čvrstoće uzorka ove vrste drva (prstenasto porozna vrsta drva) primjenom ovog ljepila.

Prilikom kidanja konstrukcije, L – sastava s dva moždanika, najviša sila (sila loma) ostvarivala se na samom početku razdvajanja konstrukcije. Kod nekih uzoraka se čak nije ni primjetilo da je došlo do loma konstrukcije, no daljnjim razdvajanjem se uvidjelo da je najviša sila dobivena baš u tom trenutku. U trenutku najveće izmjerene sile dolazi do nezamjetnog loma i izvlačenja moždanika, nakon toga se moždanici nastave izvlačiti više ili manje (ovisno o količini nanosa ljepila) nakon čega slijedi potpuni prelom moždanika i razdvajanje spoja. Kod nekih uzoraka s minimalnom količinom ljepila moždanici se nisu ni prelomili do kraja nego izvukli iz rupa (slika 13.) .



Slika 13. Potpuni lom i izvlačenje moždanika s minimalnom količinom nanosa ljepila



Slika 14. Potpuni lom moždanika s maksimalnom količinom nanosa ljepila

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju smo uvidjeli koliku pozornost treba predati montažnom lijepljenju drva. Dobili smo jako velike razlike u čvrstoći kod minimalnog nanosa i kod maksimalnog nanosa ljepila, tako da na taj činitelj lijepljenja posebno trebamo paziti. PVAc ljepilo je pokazalo bolju čvrstoću od PUR ljepila kod obje vrste drva. Rezultati su pokazali da je bitno i koju ćemo vrstu drva odabrati u kombinaciji s kojim ljepilom. Najbolja varijanta ovog ispitivanja pokazao se spoj iz bukve, lijepljen PVAc ljepilom s maksimalnom količinom nanosa (231,875 g/m<sup>2</sup>). Najmanju čvrstoću je imao spoj iz bukve, lijepljen PUR ljepilom s minimalnom količinom nanosa (82,5 g/m<sup>2</sup>). Za ispitivanje je bilo potrebno jako pažljivo izvoditi sve korake, od pripreme uzoraka do završnog ispitivanja na kidalici. Unatoč zahtjevnom izvođenju ispitivanja dobili su se valjani rezultati. Ovo ispitivanje bi trebalo u budućnosti pomoći za rješavanje problema koji se javljaju pri montažnom lijepljenju masivnog drva, te potaknuti mnoge proizvođače da obrate pažnju na bitne čimbenike montažnog lijepljenja. Upute proizvođača ljepila, za nanos ljepila, pokazale su velike razlike u čvrstoći spoja za minimalni nanos i maksimalni nanos ljepila, tako da ako želimo dobiti spoj visoke čvrstoće trebamo nanijeti veću količinu od minimalne preporučene količine ljepila.

## 6. LITERATURA

1. Grgić, M. (2016.): Istraživanje izvlačne čvrstoće T-sastava kod plošnog sastavljanja korpusnog namještaja, Diplomski rad, Šumarski fakultet , Sveučilišta u Zagrebu
2. Hrovatin, J., Zupančič, A., Šernek, M., Oblak, M. (2013.): Usporedba momenta loma kutnog spoja izvedenoga upotrebom različitih ljepila. Drvna industrija, 64 (4) 335-340.
3. Jivkov, V., Marinova A., Petutschnigg, A.J. (2008.): Influence of the temperature on the bending strenght and stiffness characteristics of glued corner joints of frame structural elements made from solid beech wood. Nábytok
4. Prekrat, S., Smardzewski, J. (2010.): Effect of Glueline Shape on Strength of Mortise and Tenon Joint. Drvna industrija, 61 (4) 223-228.
5. Prekrat, S., Španić, N. (2009.): Znanstvene metode određivanja drvnih konstrukcija kutnih sastava. Drvna industrija, 60 (4) 245-251.
6. Resnik, J. (1997.): Lepila in lepljenje lesa: (okvirna skripta).1. ponatis. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, 103.
7. Strukar, M. (2015.): Primjena drva u suvremenom građenju zgrada, Završni rad, Sveučilište u Osijeku, Građevinski fakultet Osjek
8. Šernek, M., Kutnar, A., (2008.): Polivinilacetatna lepila za les = Polyvinyl acetate adhesives for wood. Les, 60 (10) 364-370.